

TÄHED – NÄHTAVA UNIVERSUMI PEAMISED EHITUSKIVID

Laurits Leedjärv
Tartu Observatoorium

SISSEJUHATUS

Vähemalt 1970. aastateni olid tähed meie maailmapildis Universumi tähtsaimad koostisosad. Siis selgus, et suurema osa Universumi massist moodustab hoopis nähtamatu tume aine, mille olemus on seniajani saladuseks jäänud. Tumeda energia avastamine 20. sajandi lõpul lõi pildi veel rohkem segi, meile tuntud barüonaine osakaal praegu teadaolevas Universumi energiabilansis on vaid ca 4,5%. Barüonaine omakorda esineb mitte ainult tähtedena, vaid ka galaktikatesisese ja galaktikatevahelise gaasina, seega on tähtede osa Universumi energiatiheduses üsna tagasihoidlik.

Ometi on tähtedel väga oluline roll Universumi näo kujundamisel. Kui mingil moel oleks tekkinud tähtedeta Universum – veidi teistsuguste füüsika universaalkonstantide puhul oleks see täiesti võimalik – ei leiduks ei selle raamatu tegijaid-lugejaid, ei maakera ega teisi planeete. Meie tavapärane maailm koosneb valdavalt neist keemilistest elementidest, mis on sünteesitud tähtede kui termotuumareaktorite sisemuses. Suure Paugu järgne Universum koosnes vaid vesinikust ja heeliumist, kõik raskemad aatomituumad – seega siis ka näiteks meie kehad – on pärit tähtedest. Aga küllap sama oluline on ka tähtede roll füüsikalaborina, kus loodus võimaldab meil uurida ainet sellistes tingimustes ja olekutes, mida me maapealsetes laborites ise luua ei suuda. Näiteks neutrontähe tihedus on kujutlematu – selle saaksime, kui kuidagi õnnestuks kogu planeet Maa kõigi oma asukatega suruda kokku umbes 300-meetrise läbimõduga kerasse.

TARTU TÄHETEADLASED TEOREETIKUTE JA VAATLEJATENA

Tähed on muutunud lihtsalt geomeetristest kehadest Universumis astrofüüsikaliste uuringute ob-

jektiks. Eesti astronoomid on selle arenguga kaasas käinud. Tundub hämmastavgi, et vähem kui kakssada aastat tagasi, kui Friedrich Georg Wilhelm Struve Tartu Tähetornis regulaarseid astronoomilisi vaatlusi alustas, ei teadnud maailmas keegi, kui kaugel asuvad tähed ja mida nad õieti endast kujutavad. Heleda tähe Vega parallaksi mõõtmisega andis Struve esimese astronoomina mingi ettekujutuse tähtede kaugustest. Teinegi kord on Tartu astronoomid olnud Universumi mastaapide paikapanemise juures. 1922. aastal avaldas Ernst Julius Öpik töö Andromeeda udukogu kauguse määramisest, kus ta näitas, et Andromeeda näol on meil tegemist kaugel väljaspool Linnutee tähesüsteemi asuva teise galaktikaga. Öpik oli ka esimesi maailmas, kes mõistis ja käsitles tähtede evolutsiooni enam-vähem nii nagu tänapäevalgi.

Praeguse kirjutise eesmärk ei ole ammendav ajalooline ülevaade, vaid pigem tänase päeva uurimiste kirjeldamine. Seepärast tehkem järgmine suur hüpe 1947. aastasse, kui Tartu Ülikooli Tähetorni ja Meteoroloogiaobservatooriumi baasil moodustati tollase Eesti NSV Teaduste Akadeemia Füüsika, Matemaatika ja Mehaanika Instituut. Esimesed tähtedega seotud uurimisteemad olid seal planetaarudude pideva spektri tekkimine (akadeemik Aksel Kipper) ning muutlike tähtede fotomeetria (hilisem akadeemik Grigori Kuzmin). Veidi ehk ajalugu lihtsustades võime neis suundades näha vastavalt teoreetilise ja vaatlusliku astrofüüsika algeid praeguses Tartu Observatooriumis.

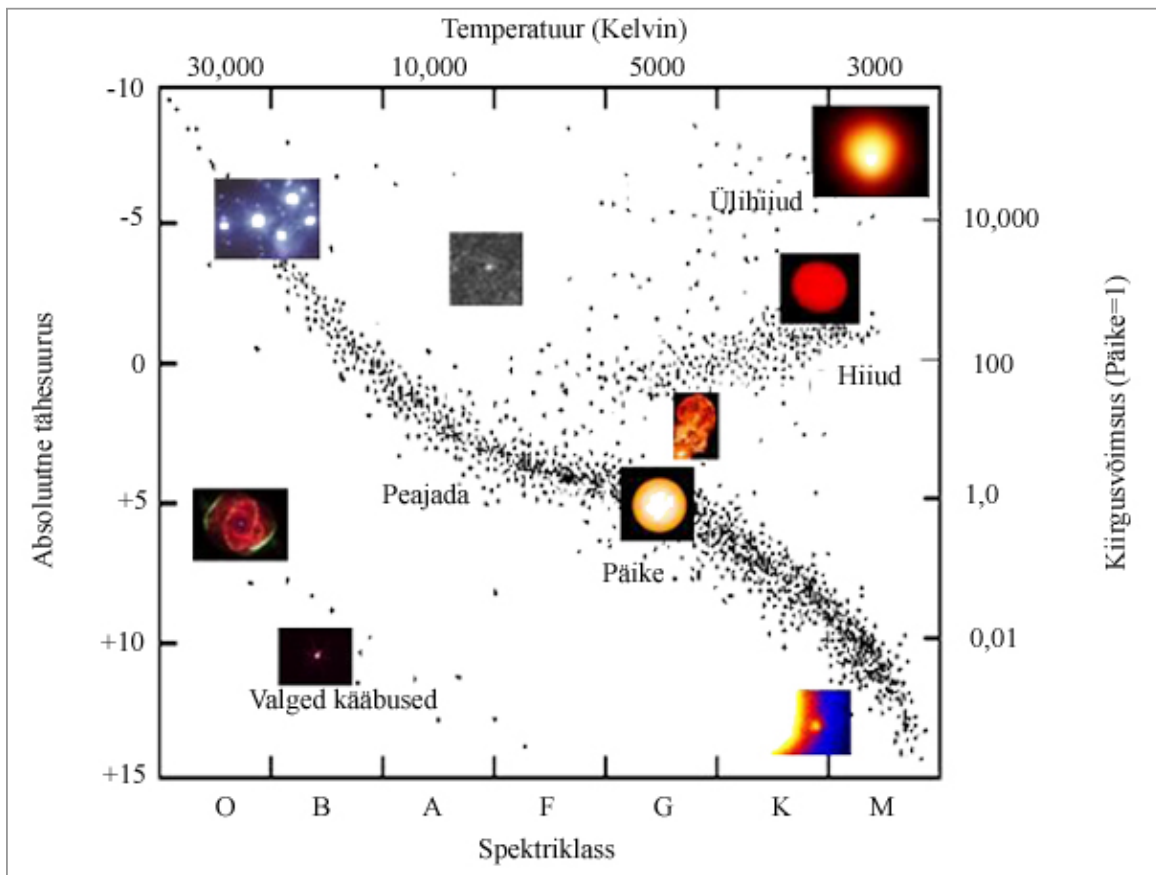
Astronoomias, nii nagu teisteski loodusteadustes käivad teooria ja – peaaegu pidin kirjutama eksperiment – käsikäes. Jah, eksperimenti asendab enamasti vaatlus, astronoomilisi objekte me ise mõjutada ei saa, neid tuleb võtta nii, nagu nad ette antud on. Vaatlejad annavad teoreetikutele mater-

jali lahtimõtestamiseks ja tõlgendamiseks, teooria omakorda võib ennustada nähtusi, mida tuleb vaatlustega kontrollida jne. Samas ei ole piir teoretikute ja vaatlejate vahel alati üheselt selge. Eriti kehtib see Eesti kohta, kus ilm ühtegi astronoomi päriselt vaatlustele pühenduda ei lase – ikka tuleb tegelda ka modelleerimisega ja vaatluste tõlgendamisega. Teiselt poolt on näiteks kauaegne teoreetilise astrofüüsika töörühma juhataja akadeemik Arved Sapar ilmselt ainuke Eesti astronoom, kes on otse USAs Goddardi Kosmoselendude Keskuses registreerinud vaatlusandmeid kosmosobservatooriumist IUE (*International Ultraviolet Observer*). Järgnevas püüamegi mitte

tõmmata eraldusjoont teoretikute ja vaatlejate vahele, vaid pigem lähtuda uurimisobjektidest.

KÜLMAD TÄHED

Tähtede põhiomadustes (heledus, temperatuur, mass) valitseva mitmekesisuse saab “kokku suruda” ühele suhteliselt lihtsale joonisele, mida nimetatakse Hertzsprung-Russelli ehk HR diagrammiks (joonis 1). See näitab tähe absoluutse heleduse (kiirgusvõimsuse) sõltuvust tema pinnatemperatuurist. Tubli 90% meie Galaktika ligi 150 miljardist tähest langevad sellel diagrammil üsna kitsasse ribasse, mida nimetatakse peajadaks. Ülejäänud tähed moodustavad näiteks punaste hiidu-



Joonis 1. Hertzsprung–Russelli diagramm: valdav osa meie Galaktika tähtedest kuulub diagonaalselt üle pildi kulgevasse peajadasse. Päike kuulub spektriklassi G2, pinnatemperatuuriga ca 5800 K.

de, asümptootiliste hiidude, valgete kääbuste jm jadasid. Kõigi peajada tähtede keemiline koostis on üsna sarnane, kuid nende spektrid näevad ometi väga erinevad välja. Temperatuuri järgi jagatakse tähed spektriklassidesse, mida kuumematest külmemate poole järjestades tähistatakse O, B, A, F, G, K, M, L. Tinglik piir kuumade ja külmade tähtede vahel on kuskil spektriklassi G kandis (meie Päike kuulub alamklassi G2) ehk ca 6000 K juures. Jahedamate tähtede pinnatemperatuurid jäävad 2000–2200 K ringi.

Külmade tähtede spektrites on väga arvukalt atomaarseid neeldumisjooni, aga ka molekulaarseid ribasid. Tänu sellele on külmad tähed head keemialaborid paljude keemiliste elementide sisalduse kvantitatiivseteks määranguteks – erinevalt kuumadest tähtedest, mille spektrites domineerivad tavaliselt vesiniku, heeliumi ja vaid üksikute muude elementide jooned. Suuresti tänu külmadele tähtedele teame, et evolutsiooni käigus võib tähe pinnakihtide keemiline koostis muutuda – sügavamates kihtides “töödeldud” aine jõuab pinnale, esialgu n-õ tavalisest tähest võib saada süsiniktäht jne. Selliste asjade uurimisega on Tõravere tähefüüsikud tükk aega tegelnud, eestvedajaks Tõnu Kipper. Keemilise koostise kvantitatiivseks määramiseks kasutatakse tänapäeval sünteetilise spektri meetodit: täheatmosfääri mudeli alusel arvutatud spektrit võrreldakse vaadelduga. Keemiliste elementide sisalduste ja muude parameetrite muutmise otsitakse sünteesitud spektri parimat kooskõla vaatlustega.

Jahedamate tähtede hulgas on ka mõned eriti iseäralikud objektid, mille puhul me saame jälgida täheevolutsiooni reaaliajas. Tavaliselt võtavad evolutsioonilised muutused aega sadu tuhandeid, miljoneid või isegi miljardeid aastaid, kuid asümptootiliselt hiidude jadalt lahkuvad tähed teevad vahel läbi heeliumi sähvatuslikke süttimisi tähe tuuma ümbritsevas õhukeses kihis. Tagajärjeks on kuude, aastate ja aastakümnete jooksul toimuvad märgatavad muutused tähe pinnatemperatuuris ja muudes omadustes. Ka selliseid objekte on Tõraveres uuritud, FG Sge ja V4334 Sgr (ehk Sakurai objekt) on selle klassi tuntuimad esindajad. 2002.

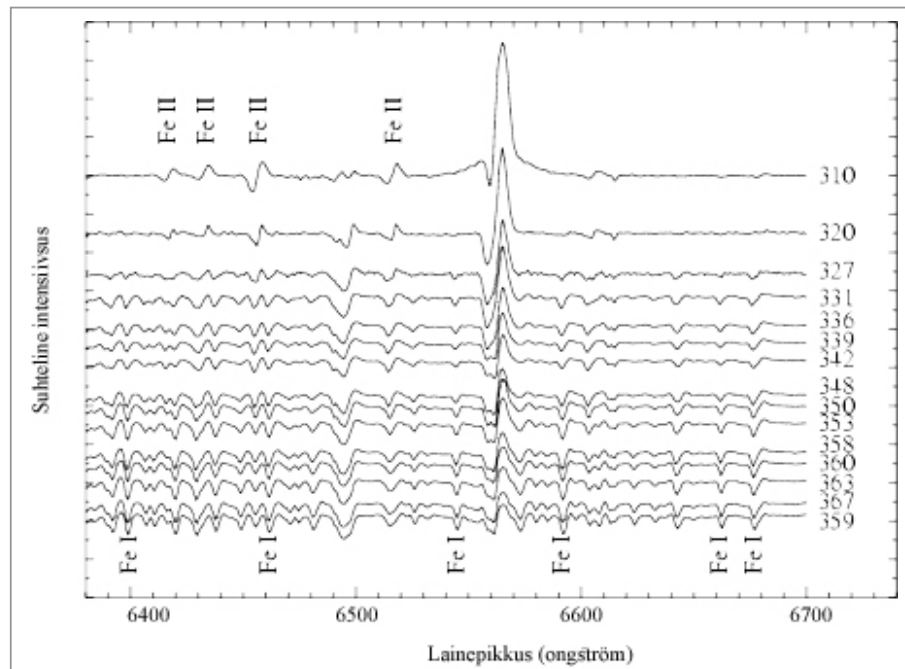
aasta jaanuaris muutus Ükssarviku (Monoceros) tähtkujus ootamatult heledaks üks täht, mida esialgu kahtlustati samasuguses käitumises (joonis 2). V838 Mon osutus siiski millekski muuks, seni ajani pole selgeks saanud, mis seal täpselt toimus. Igatahes on see iseäralik objekt pea kogu Tõravere tähevaatlajate meeskonnale mitmeks aastaks tööd pakkunud.

KUUMAD TÄHED

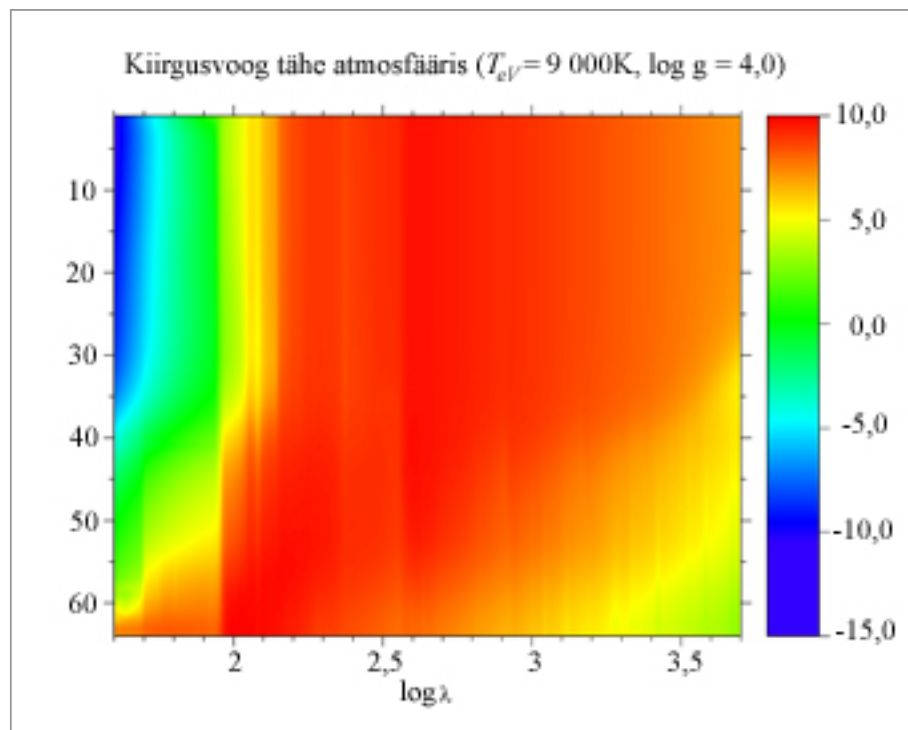
Tõravere täheuurijate traditsiooniliseks töömaaks on olnud ka tähtede temperatuurijada kõige kuumem ots: O-spektriklassi emissioonijooontega tähed, Wolf-Rayet tähed, nn heledad sinised muutlikud (LBV = *Luminous Blue Variables*), B- ja Be-tähed jms. Enamasti on need mittestatsionaarsed ehk muutuvalt muutlikud tähed – tundide, päevade, nädalate, kuude või aastate ajaskaalas toimuvad tähe heleduses, spektris ja muudes ilmingutes märgatavad muutused, seejuures tavaliselt juhuslikult, mitte ennustatavalt. Kuumade tähtede spektrid oma suhteliselt väikese joonte arvuga näivad esmapilgul lihtsamad kui külmade tähtede omad. See näiv lihtsus peidab endas aga infot keerukatest tormilistest protsessidest tähe pinnal ja selle läheduses.

Enamikku kuumi tähti iseloomustab intensiivne aine väljavool ehk tähetuul. Näiteks Wolf-Rayet tähed, mis on evolutsioonilises mõttes üsna kaugelearenenud objektid, võivad ühe aastaga kaotada 10^{-5} – 10^{-4} Päikese massi jagu ainet (Päikesel endal on see tempo ca 10^{-14} Päikese massi aastas). Tugevast tähetuulest moodustunud ümbristes tekivad tähe spektrisse sageli kiirgus- ehk emissioonijooned, mille struktuuri ja muutlikkuse uurimine annabki infot tähe lähiümbruses toimuva kohta. Tähefüüsikas on kätte jõudnud aeg, kus paljud lihtsad klassikalised lähendused (näiteks lokaalne termodünaamiline tasakaal, sfäärilise sümmeetriaga homogeenne tähetuul jne) on loovutanud kohti keerukatele detailsetele modelleeringutele. On saanud selgeks, et tähetuules leiduvad märkimisväärsed ainetihendused ehk klombid, mille olemasolu avaldub näiteks muutlike kitsaste neeldumiskomponentidena laiade kiirgusjoonte taustal.

Joonis 2.
Iseäraliku kiiresti
evolutsioneeruva
tähe V838 Mon
spektrite ajaline
muutlikkus 2002. a
kevadtalvel. Vaat-
lused on tehtud
Tõravere 1,5-meet-
rise teleskoobiga
ajavahemikus
4.02.–25.03 2002.



Joonis 3.
Kiirgusvoog A-
spektriklassi pea-
jada tähe atmo-
sfääris sõltuvalt
lainepikkusest (na-
nomeetrites) ja sü-
gavusest. Sügava-
mates ja kuume-
mates kihtides
(suurem kihi järje-
korranumber) nih-
kub konstantne
kiirgusvoog lühe-
mate lainepikkuste
suunas. Näha on
voohüpped vesini-
ku ja heeliumi
aatomite ioniseeri-
mise lainepikkuste
juures ning kõige
tugevamate neel-
dumisjoonte poolt
tekitatud triibud.



Tiit Nugis, Indrek Kolka, Kalju Annuk ja mitmed nende õpilased on need spetsialistid, kes kuumade tähtede uuringuid edasi viivad. Vaatlused ja teooria käivad käsikäes. Veidi teise kandi pealt lähevad sarnastele probleemidele ka Arved Sapar, Lili Sapar, Raivo Poolamäe jt teoreetikud, kes panevad pearõhu füüsikaliste protsesside mõistmisele täheatmosfäärides ja tähetuules. Nad on arvanud analüütilisi lahendeid mitmesugustele kiirguslevi ülesannetele kuumade tähtede atmosfäärides ja tähetuules, nagu näiteks spektrijoonte profiilide kujunemine klombilise struktuuriga tähetuules. Viimase aja suurem töö on olnud originaalse tarkvarapaketi SMART loomine ja täiustamine – see võimaldab modelleerida täheatmosfääri plasma füüsikalist olekut, arvutada kiirgusvoogu täheatmosfääris (joonis 3) ning detailset tähest väljuvat spektrit lainepikkuste vahemikus 20–3000 nm. Seejuures on võimalik arvestada täheketta ääretumenumise efekti, tähe kiiret pöörlemist, liikuvaid ainekloppe jne. Võrreldes mujal kasutatavate analoogiliste programmidega on SMART silmatorkavalt lühike ja lihtsa struktuuriga.

Anna Aret ja Arved Sapar on ette võtnud veel ühe kuumade tähtede alaliigi: anomaalse keemilise koostisega A-spektriklassi tähed, mille atmosfäärid sisaldavad mõningaid keemilisi elemente, näiteks elavhõbedat ja mangaani, harjumatult palju. Sealjuures on ka nende elementide isotoopkoostis tavapärasest kosmilisest erinev. Sellise olukorra kujundajaks on keerukas füüsikaliste nähtuste kompleks, mis hõlmab gravitatsiooni jõudu, kiirgusrõhku, magnetvälja jm. Eriti oluline on aga nn valgusindutseeritud triiv, mille puhul kiirgusvoo asümmeeria spektrijoonel põhjustab näiteks elavhõbeda raskete isotoopide üleskerkimise ja kerge isotoopide vajumise sügavamate atmosfäärikihtidesse. Need arvutused on samuti tehtud paketi SMART abil, lisades sinna täiendavad moodulid valgusindutseeritud triivi arvutamiseks.

KAKSIKTÄHED

Eri hinnangutel kuulub vähemalt 50–70% kõigist tähtedest kaksik- ja mitmiktähtede koosseisu. Tä-

nu sellele, et kaksiktähe komponendid tiirlevad ümber süsteemi masskeskme ammu teadaolevate Kepleri seaduste järgi, on kaksiktähed praktiliselt ainuke võimalus tähtede masside dünaamiliseks määramiseks. Kui veel kaksiktähe orbiidi tasand on sellise orientatsiooniga, et näeme tähevarjutusi, annab see täiendavad võimalused tähtede ja nende orbiitide lineaarmõõtmete määramiseks. Suure osa kaksiktähtede puhul mõjutavad komponendid teineteise elukäiku. Seetõttu ei saa ühtegi korralikku tähtede ehituse ja evolutsiooni teooriat üles ehitada ilma tähtede kaksiklust arvestamata.

Tõraveres tegeldakse mitut tüüpi kaksiktähtedega. Paljudel juhtudel tuleb lisaks kahele tähekomponendile tegemist teha veel nende vahel või ümber leiduvate gaasikogumitega – gaasijoad, akretsioonikettad, sfäärilised ümbrised jne. Izold Pustõlnik on teoreetikuna modelleerinud mitmeid keerukaid kaksiksüsteeme ja defineerinud uue varjutusmuutlike tähtede alaliigi – gaasvarjutusmuutlikud kaksiktähed. Koos noore kolleegi Vladislav-Veniamin Pustõnskiga tegelevad nad nüüd peamiselt selliste kaksiksüsteemidega, millest tulevikus saavad kataklüsmilised muutlikud – suhteliselt levinud ja palju uuritud, kuid siiski keerukad ja kohati mõistatuslikud süsteemid, mis koosnevad jahedast punasest peajada kääbustähest ja kuumast valgest kääbusest. Kaaslastähe tugeva kiirgusvälja mõjul peajada tähe atmosfääris toimuvate füüsikaliste protsesside detailne modelleerimine võimaldab paremini mõista mitmeid nähtusi, mis on olulised ka teist tüüpi kaksiktähtede puhul.

Üheks uurimisobjektiks on ka nn Be-röntgenkaksikud. Be-tähed on kuumade B-spektriklassi tähtede alaliik, millel tänu kiirele pöörlemisele on ümber muutlik gaasketas. Kui selline täht moodustab kaksiksüsteemi neutrontähega, võib ülevoolavate gaasijugade ja -kloppide “põrkumisel” neutrontähega tekkida tugev röntgenkiirgus. Selliste süsteemide spektroskoopiline ja fotomeetriline monitooring, milles Indrek Kolka juhendamisel osalevad pea kõik tähevaatlejad, annab lähetealused muutlikkuse põhjuste väljaselgitamiseks. Lõppkokkuvõttes aitab see paremini mõista suure massiga tähtede evolutsiooni ja nende rolli aine ringkäigul Universumis.

Kaks äärmust koos – külm punane hiidtäht ja valge kääbus, mille pinnale akreteeritud aines süttivad termotuumareaktsioonid ja mille temperatuur tänu sellele võib ulatuda üle 100 000 K – moodustavad sümbiootilised kaksiktähed, millega tegelevad peamiselt Laurits Leedjärv ja Alar Puss, vaatlustes osalevad aga jällegi kõik vaatlejad. Sümbiootilised tähed on sisemiselt üsna heterogeenne klass, kus võib omakorda eristada mitmeid alamklasse ja “soliste”. Üks viimastest on CH Cygni, mille iseärasused ei sobi ühtegi klassifikatsiooniskeemi. Seda tähte on Tõraveres uuritud juba 1968. aastast alates (uuritakse muidugi ka mujal), kuid ikkagi ei ole selge, millised protsessid täpselt toimuvad valge kääbuse pinnal ja ümbuses, milles seisneb CH Cygni olemuslik erinevus teistest sümbiootilistest tähtedest jne. Selle teema all võiks mainida ka mõningaid teisi külmast ja kuumast komponendist koosnevaid kaksiksüsteeme, mille uurimiseni Tõraveres on huvi sümbiootiliste tähtede vastu viinud – näiteks punase ülihiuga VV Cephei tüüpi tähed või oranžist hiiust ja Be-tähest koosnev AX Monocerotis.

MUID TÄHEFÜÜSIKUTE ETTEVÕTMISI

Mõningaid tähefüüsikute uurimisi on parem kirjeldada mitte objektipõhiselt, vaid n-õ horisontaalselt. Olgu siin üheks näiteks kiiruslevi teooria, millega tegeleb Tõnu Viik. Ei ole vast liialdus öelda, et kiirguse ülekande probleem astrofüüsikas on peaaegu sama fundamentaalne nagu kauguste küsimus – kui me kuidagi saaksime teada täpsed kaugused kõigi meid huvitavate taevakehadeni, oleks pilt Universumist palju selgem. See pilt omakorda baseerub aga praktiliselt ainult taevakehadelt tuleval elektromagnetkiirgusel. Täpne teadmine sellest, kuidas kiirgus oma tekkimise kohast läbi erinevate keskkondade (tähe ja selle atmosfääri eri tihedustega kihid, akretsioonikettad, tähtedevaheline aine, planeedi atmosfäär jne) vaatlejani jõuab, võimaldab paremini “taastada” ka kiirgava objekti omadusi. Kiirguse ülekande võrrand on üks astrofüüsika põhialuseid, millele on leitud tuhandeid lahendeid. Ka Tõraveres otsitakse lahendeid teatud erijuhtudele, kasutades nii analüütilisi kui numbrilisi meetodeid ning käsitledes

seejuures polarisatsiooniefekte, magnetvälju jm nähtusi.

Astronoomiliste vaatluste tulemuseks on sageli aegread, mis kirjeldavad ühe või mitme suuruse muutumist ajas. Matemaatilised meetodid aegridade analüüsiks on enamasti mõeldud ridadele, kus mõõtmised on tehtud võrdsete ajasammude tagant. Astronoomiliste vaatluste eripära (ilm, teleskoobi kättesaadavus jms) tekitab aga tavaliselt ebahütlase sammuga aegread. Selliste aegridade statistilise analüüsi meetodite väljatöötamisega ja rakendustega tegeleb matemaatikuharidusega astronoom Jaan Pelt. Tema loodud programmipakett ISDA on kasutusel mitmes maailma observatooriumis. Tervameelsed meetodid on lubanud rakendusi väga erinevate astrofüüsikaliste objektide ja probleemide puhul: pulseeruvad tähed, nn plekilsed tähed, sealhulgas ka meie Päike, gravitatsiooniläätse efektist tingitud kaksikkvasarid jpm. Viimaste juurest on saadud ka sõltumatu hinnang kosmoloogias väga olulisele Hubble'i konstandile. Viimasel ajal väljaarendatud ajas muutlike spektrite töötluspakett on lisaks astrofüüsikale leidnud rakendust ka näiteks Tallinna Tehnikaülikoolis apatiitide termilise käitumise uurimisel.

Aastal 2012 plaanib Euroopa Kosmoseagentuur (ESA) orbiidile saata ühe ilmselt läbi aegade olulisima astronoomilise missiooni GAIA, mis viib läbi omamoodi “rahvaloenduse” meie Galaktikas. Vähemalt miljardi objekti kohta saadakse viie aasta jooksul täpsed fotomeetrilised mõõtmised, paljude kohta aga veel muidki andmeid. Peatulemuseks oleks miljonite objektide täpsed kaugused, mis kokkuvõttes annab Galaktika kolmemõõtmelise pildi, aga samuti palju uut tähtede füüsikaliste karakteristikute kohta. Selliste projektide ettevalmistamine kestab aastaid ning nõuab paljude asjade “läbimängimist” maapeal. Ka Tõraveres tähefüüsikutele on siin oma roll täita, aidates välja valida kõige sobivamat fotomeetriliste filtrite komplekti, mis suudaks eristada võimalikult paljusid tähetüüpe. Seejuures leiavad kasutamist just meie kogemused emissioonijooontega mittestatsionaarsete tähtede spektrite uurimisel. Nende töödega tegeleb Indrek Kolka koos mitmete üliõpilastega, kes tõenäoliselt saavadki olema GAIA tulemuste

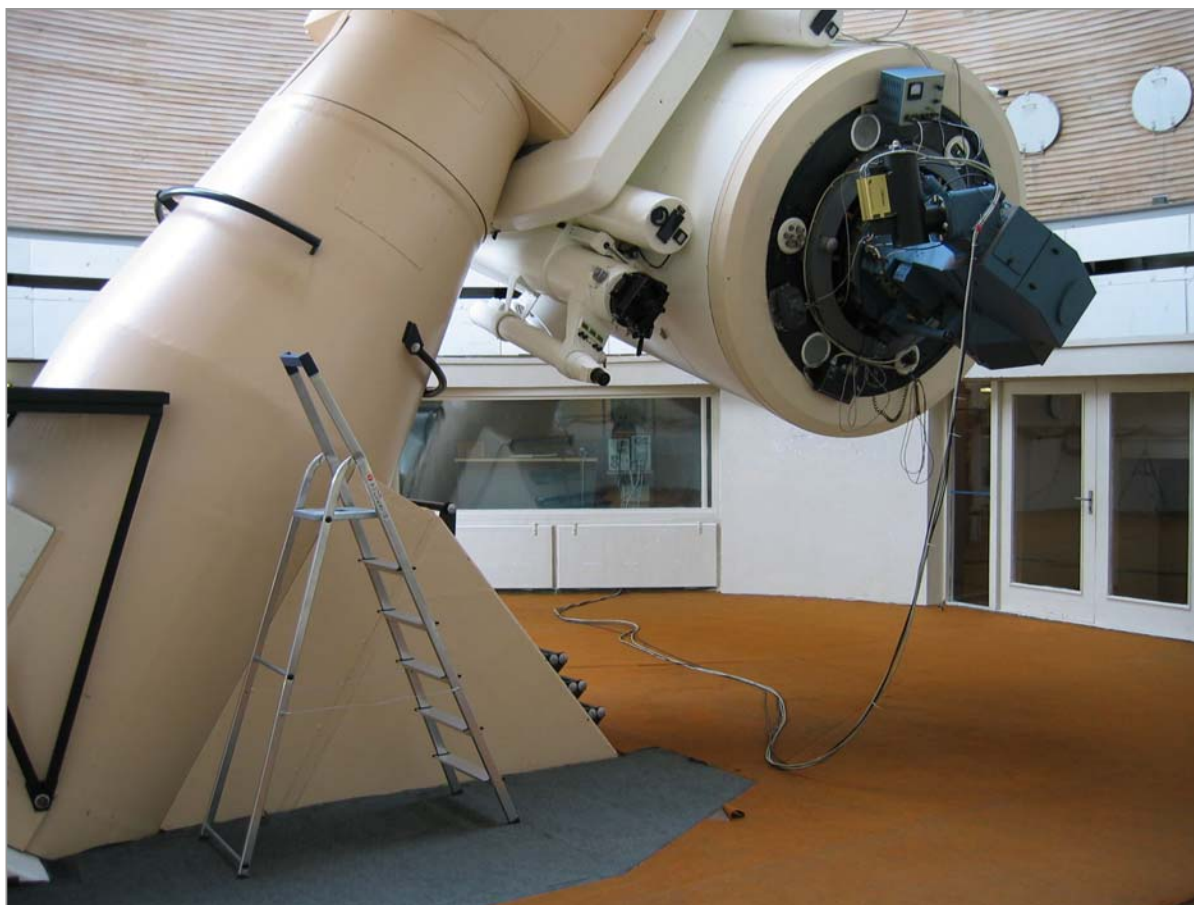
peamised kasutajad. Need tulemused saavad ju avalikuks alles pärast aastat 2017. Objektide automaatse klassifikatsiooni probleemidega GAIA tulevases toetus andmebaasis tegeleb ka Valeri Maljuto.

EDU TULEB KOOSTÖÖS

Tänapäeva teadus on rahvusvaheline nähtus. Koostöö algab tegelikult juba n-õ rohujuure tasandil – näiteks sellest, et vaatleja üksi ei saa hakkama teleskoobi ja sinna juurde kuuluva keeruka tehnika hooldamisega, vaja on ka teleskoobi-

inseneri. Tõraveres kasutatakse viimasel ajal kaht teleskoopi. 1,5-meetrine teleskoop (vt foto) töötab koos Cassegraini fookusesse kinnitatud difraktsioonspektrograafiga, spektrite registreerimiseks kasutatakse nn CCD (*Charge Coupled Device*) kaamerat. Teine teleskoop on läbimõõduga 0,6 meetrit, seda kasutatakse tähtede heleduse mõõtmiseks erinevates lainepikkuse piirkondades ehk siis fotomeetriaks. Kiirgusvastuvõtjaks on jällegi moodne CCD kaamera.

Eesti kliima võimaldab muutlike tähtede pikaajalist monitooringut. Eriti suurt teleskoopi detailse-



1,5-meetrine teleskoop AZT-12 ja selle küljes töötav difraktsioonspektrograaf ASP-32 koos CCD-kaameraga Orbis-1 on Tõraveres tähefüüsikute üks peamisi töövahendeid (foto: Kalju Annuk).

mateks uuringuteks pole aga mõtet siia üles panna, selliste riistade jaoks tuleb valida hea kliimaga koht mägedes. Õnneks on paljud suured teleskoobid kõigile astronoomidele põhimõtteliselt vabalt kättesaadavad, on vaja vaid teaduslikult hästi põhjendatud vaatlusprogrammi. Praktikas mujal vaatlusaega saada siiski nii lihtne ei ole, meie otsesed kogemused piirduvad peamiselt Venemaa 6-meetrise teleskoobiga ja La Palma saarel (Kanaarid) asuva 2,56-meetrise Põhjamaade teleskoobiga. Kuid koostöös teiste astronoomidega on kasutatud ka paljude muude teleskoopide andmeid. Tartust Brüsselisse siirdunud doktorant Taavi Tuvikene on käinud vaatlemas nii Lõuna-Aafrikas kui Lõuna-Ameerikas.

Hea, kui on koostöö ka vaatlejate ja teoreetikute vahel. Nii see meil enamasti on. Tõraverre pole ainuke tähtede uurimise koht Eestis. Tartu Ülikooli professor Ene Ergma on küll mõnda aega aktiivsest uurimistööst kõrval, kuid tema tööd millisekundiliste pulsarite ja muude kompaksete objektide kohta on vast tuntuimad eestlastest täheuurijate tööde hulgas. Tähtedega tegeldakse ka Tallinna Tehnikaülikooli Tähetornis Glehni pargis. Seal kogutud pikad vaatluste read, mille korrastamisega tegelevad Voldemar Harvig ja Vladislav-Veniamin Pustõnski, on toeks ka Tõraverre teadlaste tööle. Varase Universumi ehk esimeste tähtede ja galaktikate tekke uurimine viib järjest süvenevatele seostele tähefüüsika ja kosmoloogia vahel. Selle koostöö heaks näiteks on 2005. aasta augustis Tartus ühiselt korraldatud rahvusvaheline konverents tähtede evolutsioonist madala metallisisalduse puhul. Rahvusvahelisi nõupidamisi on tähe-

füüsikud korraldanud ka varem, näiteks 1999. aastal tähetuule termilisest ja ionisatsioonilisest struktuurist ning 2002. aastal GAIA fotomeetria töögrupi koosolek. Igal astronoomil on mõni koostööpartner Euroopas või mujal, kellega vahel sagedamini, vahel harvemini kontakteerutakse ja ühiseid teadusartikleid kirjutatakse. Kõigi üleslugemine läheks pikale, mainigem vaid mõningaid kohti ja asutusi, millega viimastel aastatel tihedamaid sidemeid on olnud: Helsingi, Turu ja Oulu Ülikoolide observatooriumid, Lund ja Uppsala, Vilnius, Toruńi Ülikool Poolas, Slovaki ja Tšehhi Teaduste Akadeemiate instituudid, Budapest, Utrecht, Kopenhaagen, Brüssel, Pariis, Kanaari Astrofüüsika Instituut (La Laguna, Tenerife), Smithsonian Astrofüüsika Keskus (Harvard, USA), ...

Nii nagu tähed moodustavad tühise osa Universumi energiabilansist, on ka Eestis tehtav täheteadus tilluke osake maailmakultuurist. Ometi on iga osake tähtis, tervikpildi kokkupanemiseks on kõigi jõupingutused vajalikud. Kui Eestis ei oleks kompetentsi astrofüüsikas, kaoks peagi vastav õpetus ülikoolidest. Ega siis koolideski kauaks teadjaid õpetajaid jätkuks..., reaalasid õppima asuvate noorte arv väheneks veelgi, teadmistepõhine Eesti kaugeneks reaalsest Eestist. Tähtede uurijad, koostöös teiste astronoomide ja füüsikutega, püüavad vältida sellise stsenaariumi teokssaamist.

Lõpetuseks tahaksin tänada kõiki kolleege, kelle töövilju olen ülevaates kasutanud – nii neid, kellega on aastaid koos “tähti näritud”, kui ka noori magistrante ja doktorante, kes on meiega entusiastlikult liitunud, et täheuurimine Tõraveres ka tulevikus jätkuks.